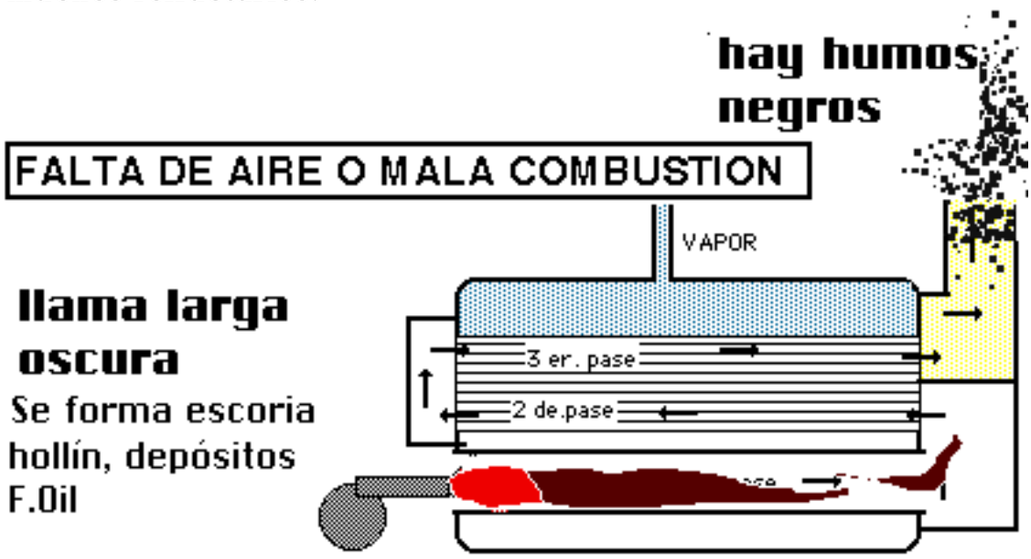
Modulo 6-AJUSTANDO LA COMBUSTION A FUEL OIL

CONTROL DE COMBUSTIÓN EN F. OÍL

En forma visual, para control la combustión del F. Oíl, tendremos el color y forma de la llama, en los humos el color, veamos las siguientes figuras:

Cuando el exceso de aire es normal, entre 15% y 30%, la llama será relativamente corta, la llama de un color naranja con las puntas claras, el humo casi no se apreciará, salvo un color caramelo suave en algún quemador más antiguo (no notándose más que un velo en quemadores modernos bien ajustados para que no formen hollín). **Aquí la pérdida por exceso de aire será mínima, pero habrá en algunos casos que controlar la formación de CO** (monóxido de carbono), **especialmente en caldera con muchos refractarios.**



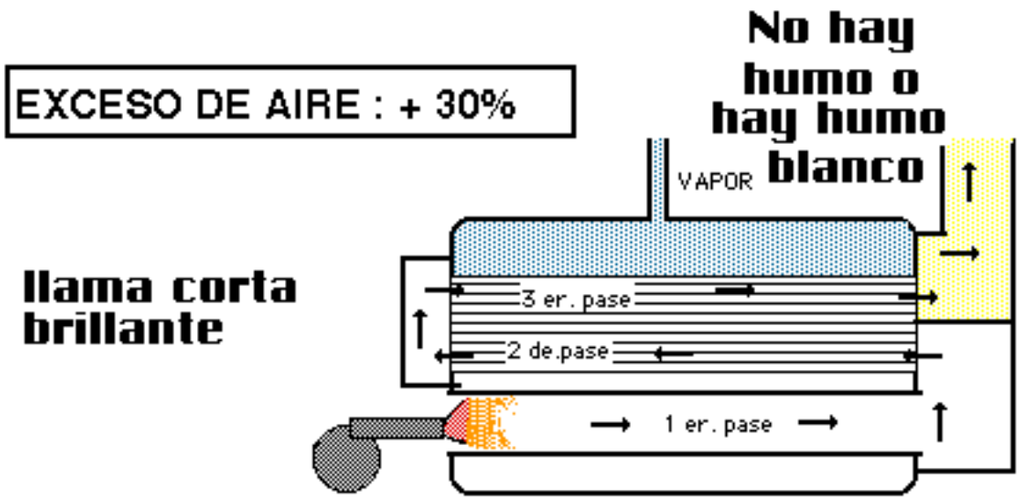
Cuando falta el aire, es decir que el aire es menor a la cantidad mínima necesaria (en F.Oíl menos de 14,... Kg. por Kg. de F. Oíl), **se produce un alargamiento de la llama, con su oscurecimiento y la formación de humos negros en la chimenea.**

¡ Pero atención ! También se pueden formar humos negros y alargamiento de

Modulo 6-AJUSTANDO LA COMBUSTION A FUEL OIL

llama (con oscurecimiento) **aunque sobre el aire, debido a una mala mezcla del combustible con el aire** (mala atomización, mal direccionamiento del aire, etc.)**, o al enfriamiento de la combustión, por ello es conveniente la medida del exceso de aire por medio del CO2 o el O2.**

En este caso el problema más importante no es solamente el hollín que es muy contaminante (no solamente por un problema “estético”), sino que la caldera está formando destilados sin quemar (o CO, se contamina el aire y se pierde energía en forma muy importante), **pero el hollín formado aisla las superficies de transferencia, horas tras horas, lo que disminuye la transferencia, aumentando la temperatura de chimenea y con ello las pérdidas.**



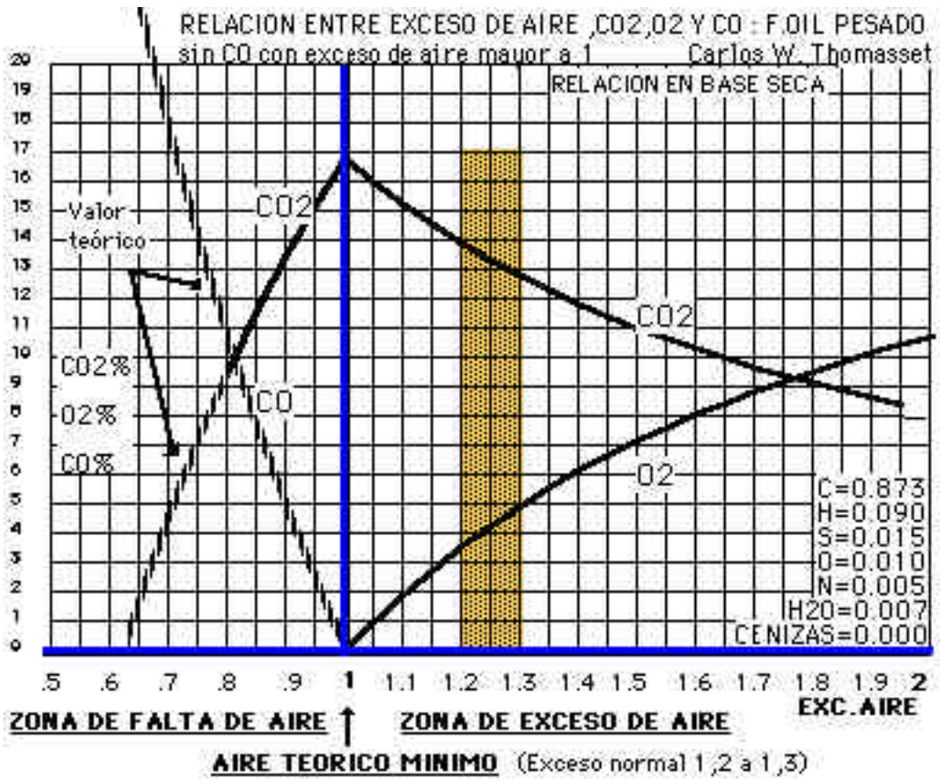
El exceso de aire es la forma más engañosa si solo miramos el humo de la chimenea (que por lo general es inexistente y dá la sensación que la caldera “está quemando bien” y sin embargo tenemos grandes pérdidas por exceso de aire). **En este caso debemos de mirar la llama, que será corta y brillante, cuanto más aire en exceso tenga** (hasta cierto límite, llegando luego a ser tan fría la combustión, que la llama se alarga y oscurece, produciendo en algunos casos humo negros y en otros humos blancos, estos humos blancos son gotitas sin quemar de combustible en forma de niebla)**.**

De todas maneras, el monitoreo visual de la combustión con F.Oíl (u otros combustibles líquidos semipesados) **son relativamente fáciles de hacer con cierta certeza, no así en gases y leña.**

Para trabajar con la medición del exceso de aire, la falta o cualquier condición de combustión, sugiero la utilización del triángulo del OSTWALD, que con ventaja permite ver claramente la relación de los gases de combustión (sin el H2O, ya que se supone que el agua al hacer la medición se ha condensado al enfriar la muestra de gases calientes, por esta razón se debe de trabajar sobre esta gráfica teórica con medidas de “gases secos” , cuidando la lectura del O2 , especialmente en los medidores con celdas de zirconio).

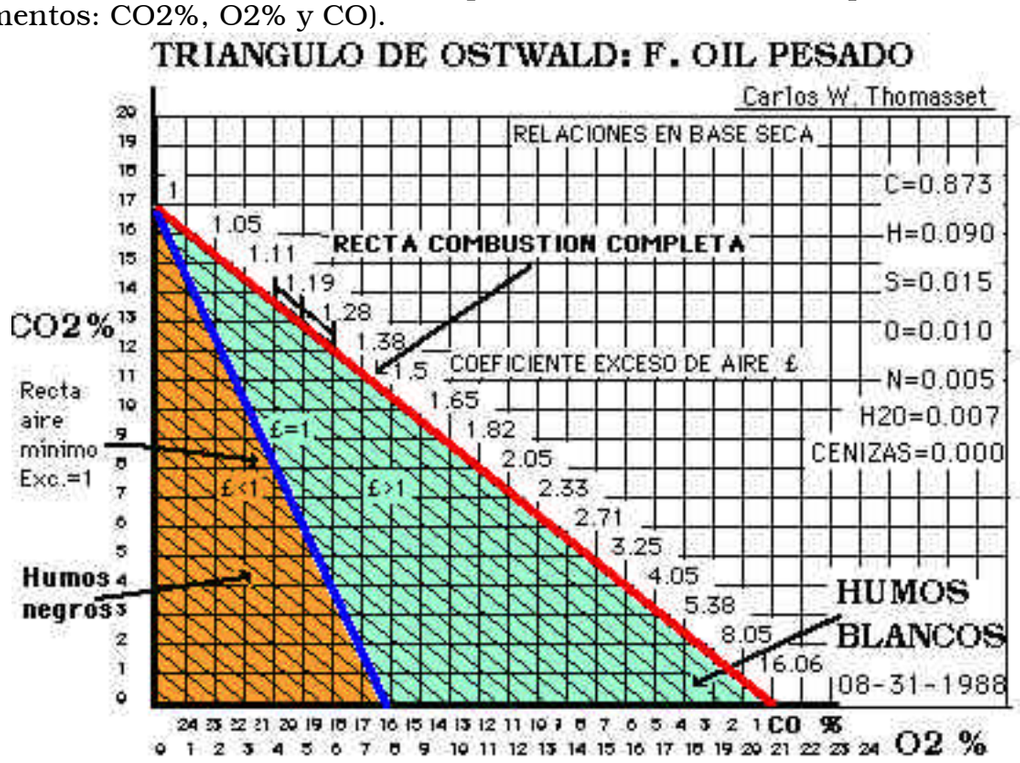
En la realidad esta gráfica puede tener que ser corregida, ya que se supone que por cada parte de CO (monóxido de carbono), pueden haber igual contenido de H2 (hidrógeno), corrección que aquí no hemos hecho, por considerar que no se debe tener CO (o casi nada) con el quemador ajustado correctamente.

Modulo 6-AJUSTANDO LA COMBUSTION A FUEL OIL



En el gráfico anterior, graficamos los gases de chimenea, teóricamente, suponiendo que en la zona de exceso de aire, la combustión es completa, por lo que en la realidad esto puede no ser así (puede haber CO o sea “gases sin quemar”), **lo que si bien midiendo el CO2% o el O2% podemos establecer un “exceso de aire” para esos valores, no necesariamente tendremos la certeza de que esto es lo que está ocurriendo.**

Por eso, veamos el gráfico inferior, un “Triángulo de OSTWALD” para Fuel Oíl pesado, en que si bien el CO% no está corregido como “gases no quemados”, ya que se interpreta que por cada 1 parte de CO hay una parte de “gases no quemados”, en este gráfico solo hemos supuesto la presencia de CO y no de “gases no quemados”, pero que se acerca a la realidad de una medida por ORSAT (instrumento que mide en base seca q los tres elementos: CO2%, O2% y CO).



Modulo 6-AJUSTANDO LA COMBUSTION A FUEL OIL

EL TRIANGULO DE OSTWALD

Este gráfico, es un sistema visual de ver el resultado de la combustión, está trazado en % de volumen de los gases secos y se usa de la siguiente manera:

Es un triángulo formado por el cateto vertical (ordenadas) por el **CO2% de cada combustible en particular** (cada triángulo solo es válido para cada combustible, ya que su trazado responde a la composición química del combustible y de la atmósfera terrestre al nivel del mar, y con los **gases secos**), **en la cual el CO2% corresponde a la suma de CO2% + SO2%** (dado que ambos elementos necesitan en volumen o molarmente la misma cantidad de oxígeno y como los instrumentos de absorción absorberán a los dos, además la incidencia del SO2%, anhídrido sulfuroso es por lo general bajo), **o sea que el valor máximo será el máximo CO2% del combustible** (la suma CO2%+SO2%, cuando el aire necesario corresponde al mínimo o estequiométrico, con combustión completa). **Este CO2% máximo será mayor a medida que la relación hidrógeno/carbono disminuye** (H/C) o sea que el combustible tenga más carbono en relación al hidrógeno.

En el cateto horizontal (abscisas), **se traza el % de O2** (oxígeno atmosférico, aprox. 21% en volumen) **hasta 21 %.**

La hipotenusa será el punto de intercepción de la combustión completa, en donde se unen los valores correspondientes a cada determinado valor de CO2% y O2%, indicándose a partir de 0% de exceso (aire mínimo o estequiométrico, que no sobra el O2, es 0% y el CO2% es el máximo), pasando por todos los valores hasta el infinito exceso de aire (∞), **cuando el O2% es 21% o máximo, valor que solo se dá en la realidad cuando no hay combustión.**

Paralelo a la hipotenusa, se trazan los valores de cada % de CO (monóxido de carbono), siendo el **máximo CO se produce cuando el CO2% es 0 y el O2% es 0.** Este valor máximo del CO es diferente para cada combustible, al igual lo que ocurre con el CO2%, siendo el valor mayor a medida que disminuye la relación hidrógeno/carbono (H/C), es decir, cuanto más carbono tenga el combustible (siendo máximo en los carbones y celulósicos, disminuyendo un poco en el F.Oíl, otro poco a medida que los combustibles líquidos tienen menos densidad, bajando aún más en los gases orgánicos, como en el gas natural, etc).

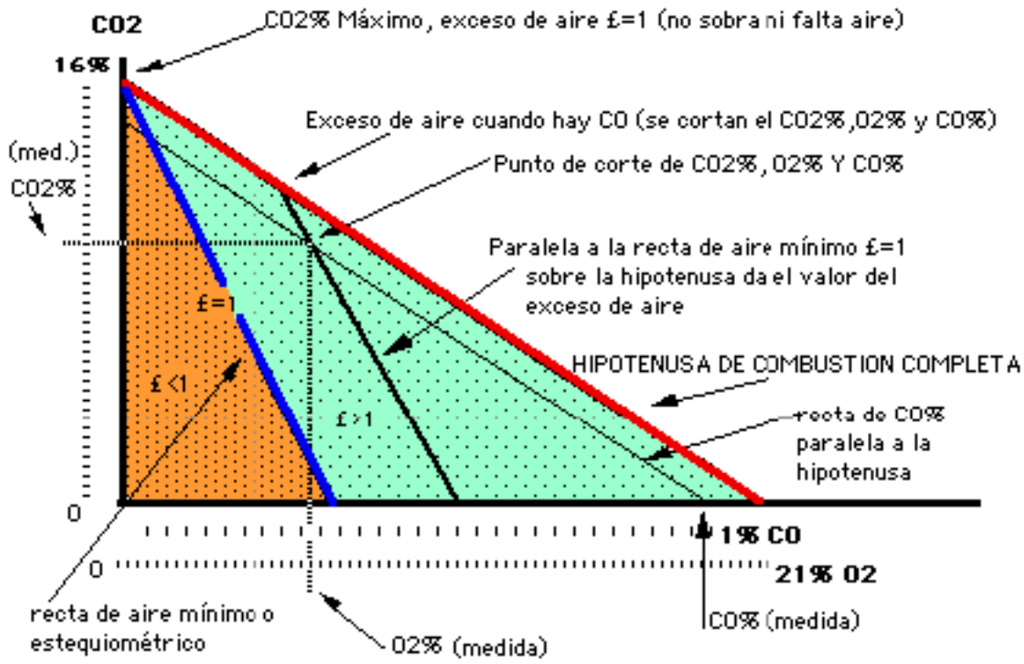
Cuando no se dá que las medidas de CO2% y el O2% coincidan en la hipotenusa (combustión completa), **el punto de intersección será sobre una zona en que habrá mala combustión o sea, que hay un % de CO.** Por lo general las lecturas no cierran en punto, sino en un triángulo (cuyos vértices serán CO2-O2 , CO2-CO y O2-CO), en este caso se tomará como punto el centro de gravedad del triángulo, o sea, la intersección de las mediatrices de los lados.

Para saber el exceso de aire (£) **correspondiente a dicho punto, debemos de trazar primero una recta que indican los puntos del exceso de aire £ = 1** (exceso de aire igual a 1, aire mínimo, o estequiométrico o sea, que no sobra ni falta aire). **Esta recta va en el punto de intersección del CO2% máximo y O2% = 0, siendo el otro punto el O2% correspondiente al CO2% = 0 cuando el aire es el mínimo** (estequiométrico). **Una vez trazada esta recta, se dividirá el triángulo en 3 zonas, a-la de la menor valor en abscisas , falta el aire, b-sobre la recta, aire mínimo, c-sobre los valores mayores de O2% a partir de la recta, será la zona de exceso de aire** (sobra el aire).

A partir de paralelas a esta recta, del lado derecho o donde sobra el aire, la intercepción de dichas paralelas con la hipotenusa, darán el exceso de aire correspondiente al punto interior al triángulo.

Como se ve, este triángulo, da todas las posibilidades de combustión (aunque se puede trazar un triángulo “corregido” a los valores de CO%, ya que se ha detectado que cuando hay CO, también hay gases combustibles como el hidrógeno sin quemar, aunque,

consideramos que a fines prácticos, estos triángulos teóricos son suficientes, ya que el resultado buscado deberá ser la combustión completa).


CO2
CO2% Máximo, exceso de aire £=1 (no sobra ni falta aire)
16%
Exceso de aire cuando hay CO (se cortan el CO2%,O2% y CO%)
(med.)
CO2%
Punto de corte de CO2%, O2% Y CO%
Paralela a la recta de aire mínimo £=1 sobre la hipotenusa da el valor del exceso de aire
£=1
£<1
£>1
HIPOTENUSA DE COMBUSTION COMPLETA
recta de CO% paralela a la hipotenusa
0
1% CO
0
21% 02
recta de aire mínimo o estequiométrico
O2% (medida)
CO% (medida)

El triángulo de OSTWALD, nos permite interpretar la relación de los gases de combustión en una chimenea, tanto con exceso de aire como con falta de aire, con mala combustión (con presencia de CO). Se debe considerar que pueden haber otros gases sin quemar, que juntos con el CO, son el producto de una mala combustión (se establece como CO o se corrige el triángulo de OSTWALD, estableciendo una cantidad de H igual a la cantidad de CO, cuando hay presencia de CO)

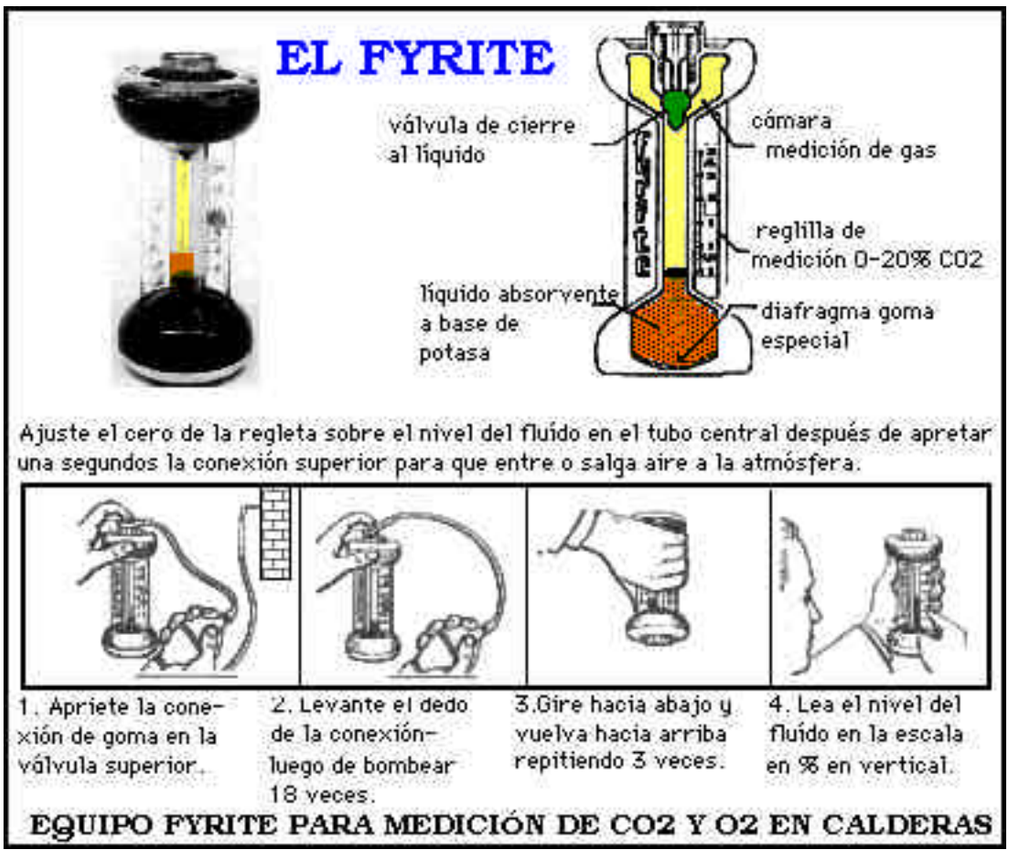
El hollín no está indicado en el triángulo de OSTWALD.

El croquis anterior, indica los parámetros más importantes en el triángulo de OSTWALD. Recordar que a la derecha del la recta de aire mínimo o estequiométrico (£=1), sobrará el aire. Si al medir, hay CO no es por falta de aire, sino que solamente hay mala combustión, los valores de CO2% y O2%, caerán en la zona de £>1 (exceso de aire mayor a 1) y si medimos el CO%, este dará un valor, que crece desde la hipotenusa hacia el interior del triángulo, siendo el mayor valor de CO%, el punto de intersección en que el CO2% y el O2% son igual a cero (0%). Este valor de CO máximo, será de un valor mayor en aquellos combustibles con menor relación de H/C (menor cantidad de hidrógeno respecto al carbono).

Exceso de aire: midiendo el CO2% o el O2%

Esto se puede hacer con instrumentos sofisticados, como una **celda electro-química** para medir el O2% presente en chimenea, o un **sensor de óxido de zirconio** que trabaja directo en la chimenea (a alta temperatura) y dé el **O2% sobrante**, habiendo otros instrumentos basados en que el oxígeno (O2) es un gas de características magnéticas (no es común que ocurra en los gases) u otros como el anhídrido carbónico (CO2) tiene mayor peso específico (son más pesados) que los otros gases de chimenea, etc. . **Pero a veces lo más práctico es usar un equipo como el FYRITE** (ver figura), que funciona por absorción química del CO2 (con potasa cáustica, algo parecido al ORSAT). La ventaja del equipo es su sencillez. Ver figura.

Modulo 6-AJUSTANDO LA COMBUSTION A FUEL OIL


EL FYRITE
válvula de cierre al líquido
cámara medición de gas
reglilla de medición 0-20% CO2
líquido absorvente a base de potasa
diafragma goma especial
Ajuste el cero de la regleta sobre el nivel del fluído en el tubo central después de apretar una segundos la conexión superior para que entre o salga aire a la atmósfera.
1. Apriete la conexión de goma en la válvula superior.
2. Levante el dedo de la conexión- luego de bombear 18 veces.
3.Gire hacia abajo y vuelva hacia arriba repitiendo 3 veces.
4. Lea el nivel del fluído en la escala en % en vertical.
EQUIPO FYRITE PARA MEDICIÓN DE CO2 Y O2 EN CALDERAS

El FYRITE ®(Bacharach®) es un equipo del tipo de absorción química, para la medida del CO2 , habiendo similares para O2.

En el caso del **CO2** (anhídrido carbónico), se utiliza **hidróxido de potasio** (KOH) como absorbente, a una determinada concentración (este absorbe a la suma de CO2+SO2, siendo por lo general muy baja la incidencia del SO2%). La medición es una medida en una columna hidráulica (tubo con gas y líquido) que será sometido al peso de la solución y a la presión de la misma al absorber el CO2, y por medio de una membrana a la presión atmosférica en la parte inferior de la cámara del líquido (previa calibración a 0%, al comunicar el interior del equipo con la atmósfera y luego ajustar la reglilla a cero %). Una vez mezclado el gas de muestreo atrapado en la cámara superior con la potasa, el CO2 se absorbe químicamente, lo que hace disminuir la presión interior, la presión atmosférica empuja el diafragma hasta el equilibrio, en donde al leer el nivel que sube por el tubo central puesto vertical, dará la lectura del CO2% . El medidor de O2, será similar en la operación, aunque el elemento absorbente, será otro producto químico selectivo, o sea que solo actúa con el O2 (el problema con el medidor del O2 es que ante cualquier penetración de aire, cuando el equipo está en reposo-guardado- se agota el líquido, cosa que no ocurre con la potasa).

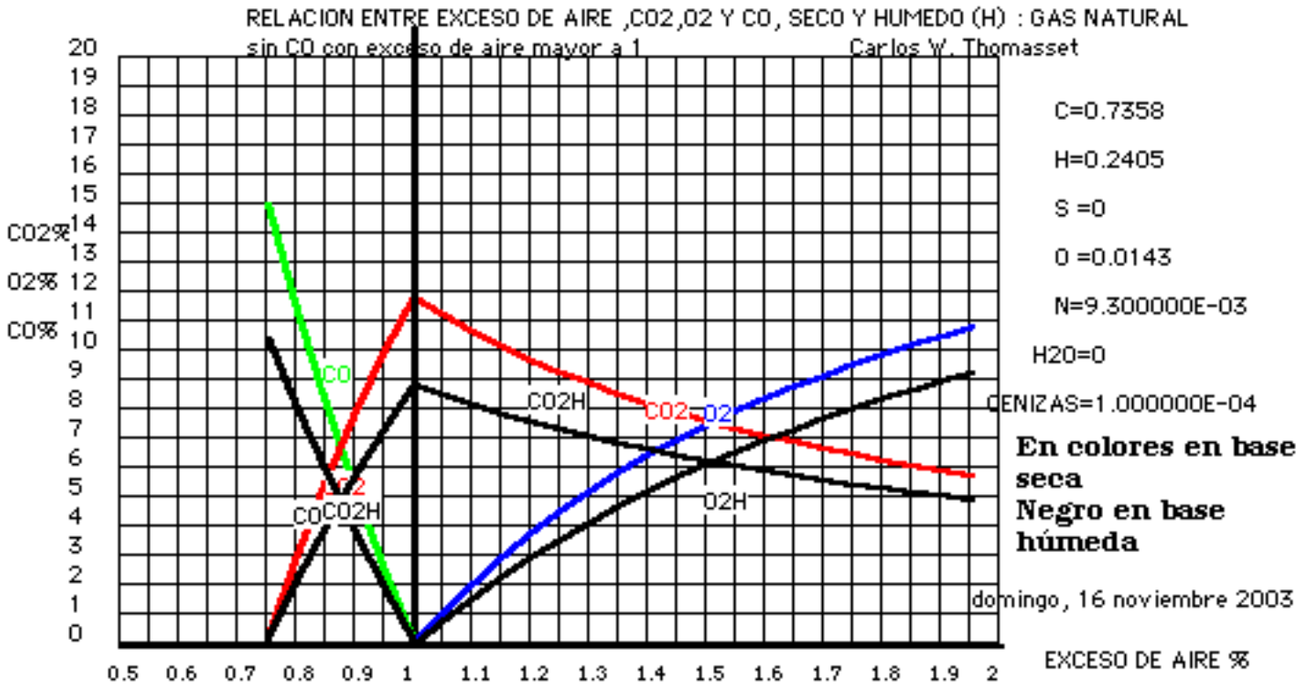
Estos equipos tienen la gran ventaja de la simplicidad y la facilidad de su mantenimiento (o reparación), su error, si bien puede ser de hasta 0,5%, su precisión es suficiente para el ajuste de la combustión en la calderas más comunes .

Recordar que estos equipos miden los gases en relación seca (considera el agua en los gases de chimenea como ausentes o sea, condensados).

Modulo 6-AJUSTANDO LA COMBUSTION A FUEL OIL

La gran ventaja del FYRITE, es lo simple de su utilización y mantenimiento.

La relación en base húmeda es en gases de chimenea.



Un control fundamental :

El monitoreo del hollín (micro-hollín) **en los combustibles líquidos, es conveniente hacerlo con una bomba de hollín del tipo BACHARACH,** de esta manera sacamos una medida directa del problema en los gases de chimenea (al pasar 1,809 ltrs. de gas por un orificio de 1/4” con un filtro de papel que deja la mancha del micro-hollín comparable

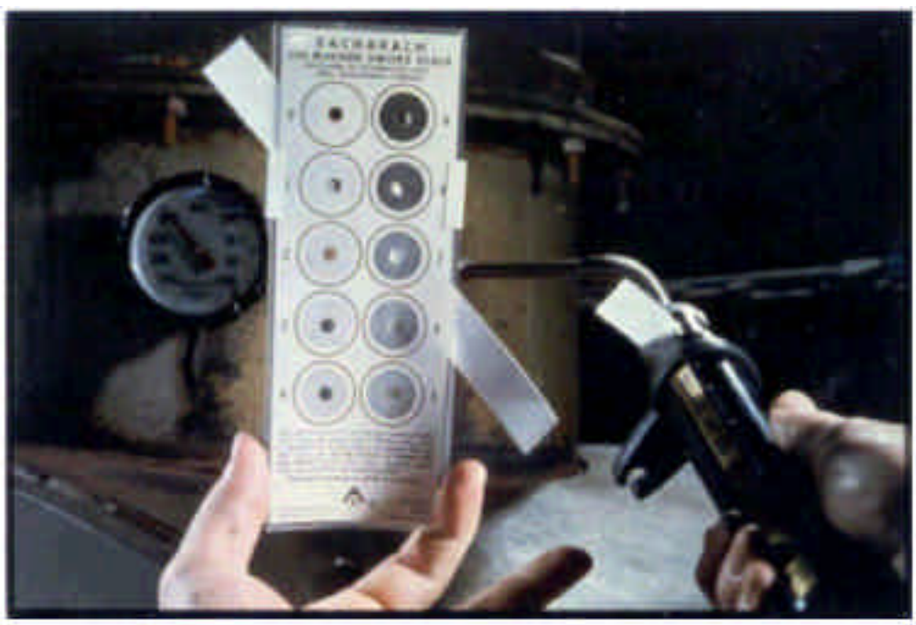
con un cartilla calibrada de acuerdo a la intensidad de la mancha, según normas ASTM).

En F. Oíl pesado el Nº máximo admisible de la mancha es el Nº3 y en F. Oíl calefacción el Nº2. Pero, recordar que son los valores máximos, lo que no significa que debemos aceptar dichos valores como valores standard de trabajo normal. En la práctica, los valores oscilan 1 o 2 Nº por debajo (en F. Oíl pesado es normal tener un Nº por debajo de Nº1, especialmente en quemadores de atomización a vapor y aún mecánica).

¡ Pero cuidado! La mancha de hollín está en relación al exceso de aire. Ejemplo: si tenemos Nº2 en un exceso de aire del 30% (£=1,3), si lo comparamos con un Nº2 con un exceso de aire del 60% (£=1,6), es evidente que en este último caso, en realidad hay mucho más hollín, **ya que hay una dilución por el propio exceso de aire** (¡como si en un vaso de vino pusiéramos más agua!).

BOMBA SACA MUESTRAS DE HOLLIN BACHARACH®

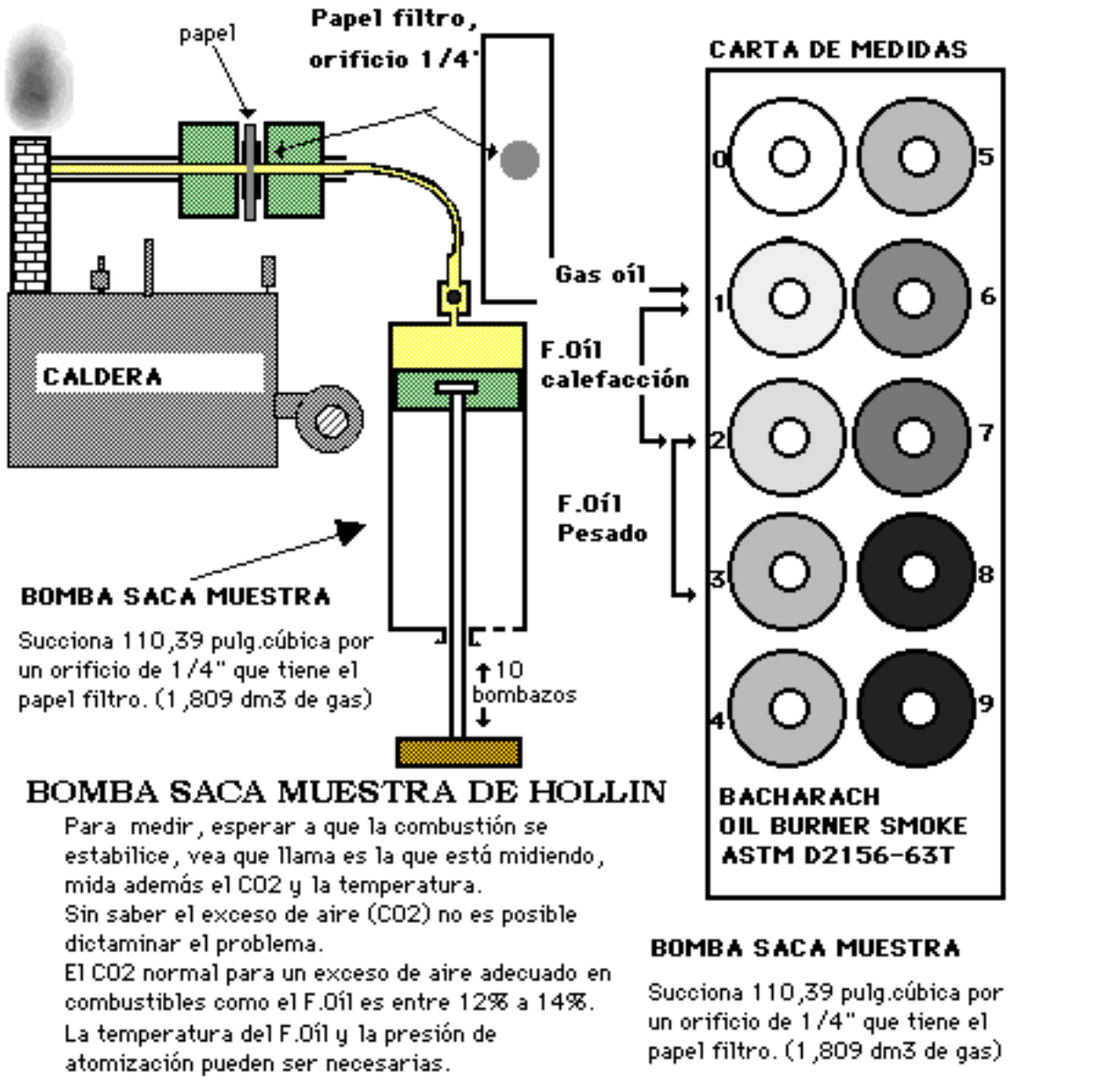
1
2
3
1-Toma la muestra (10 bombazos)
2-Sobre el papel filtro queda la mancha de hollín
3-Se compara con la cartilla
Este equipo es de la BACHARACH (U.S.A.)



El uso de esta bomba de hollín es aconsejable para combustibles líquidos, no así para leña o gases. (Ya que por lo general no encontraremos hollín en la quema de gases o celulósicos).

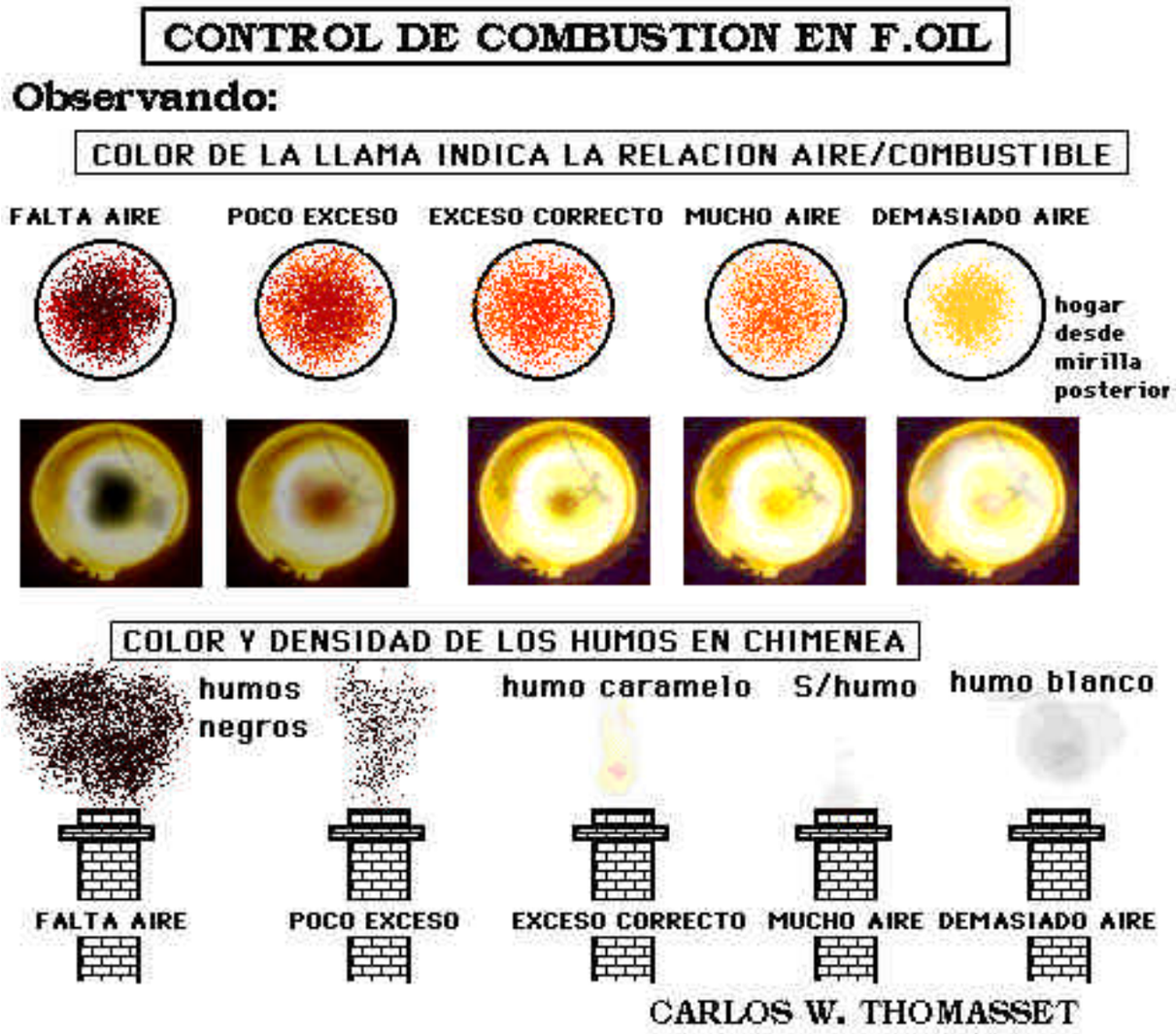
La importancia de mantener la caldera libre de hollín, siendo lo más importe evitar la contaminación ambiental, tiene una incidencia tan alta en la “aislación” de las superficies de intercambio térmico, que al no haber buena transferencia, la pérdida por los gases de chimenea al aumentar las temperaturas de chimenea es de un valor muy alto (más de 15% de pérdida en algunos casos, sino se limpia de hollín la caldera cada pocas horas de marcha, cuidando que los quemadores no produzcan hollín, ya que en pocas horas el

hollín formado es suficiente para provocar estas pérdidas).


papel
Papel filtro,
orificio 1/4"
CARTA DE MEDIDAS
Gas oil
F.Oil
calefacción
F.Oil
Pesado
CALDERA
BOMBA SACA MUESTRA
Succiona 110,39 pulg.cúbica por un orificio de 1/4" que tiene el papel filtro. (1,809 dm3 de gas)
10 bombazos
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
BACHARACH
OIL BURNER SMOKE
ASTM D2156-63T
BOMBA SACA MUESTRA DE HOLLIN
Para medir, esperar a que la combustión se estabilice, vea que llama es la que está midiendo, mida además el CO2 y la temperatura.
Sin saber el exceso de aire (CO2) no es posible dictaminar el problema.
El CO2 normal para un exceso de aire adecuado en combustibles como el F.Oil es entre 12% a 14%.
La temperatura del F.Oil y la presión de atomización pueden ser necesarias.
BOMBA SACA MUESTRA
Succiona 110,39 pulg.cúbica por un orificio de 1/4" que tiene el papel filtro. (1,809 dm3 de gas)
NO SIEMPRE QUE SE OBSERVE HUMOS NEGROS EN LA CHIMENEA O LA LLAMA OSCURA, ES UN PROBLEMA DE FALTA DE AIRE, PUEDE HABER MALA COMBUSTION.
COMBUSTIBLE MAL ATOMIZADO, FRIO, AIRES MAL AJUSTADOS, HOGAR FRIO, ESCORIA, AGUA, ETC.
CARLOS W. THOMASSET

El monitoreo visual es un fundamental cuando no hay instrumentos. Para hacer el monitoreo visual de las llamas, a veces aconsejable utilizar unos lentes para soldadura autógena (de baja densidad de color), de manera de poder observar la llama sin afectar la “vista” (afectar la retina de los ojos, especialmente al observar llamas de los hornos o calderas con mucho refractario, que tienden a generar fuertes radiaciones de luminosidad). En general conviene no mirar la llama, más que por los visores protegidos desde la parte de atrás de la caldera en los combustibles líquidos, gaseosos (gasógenos inclusive). En la quema directa de leña, la llama se puede observar desde una mirilla en el frente de la capilla delantera.

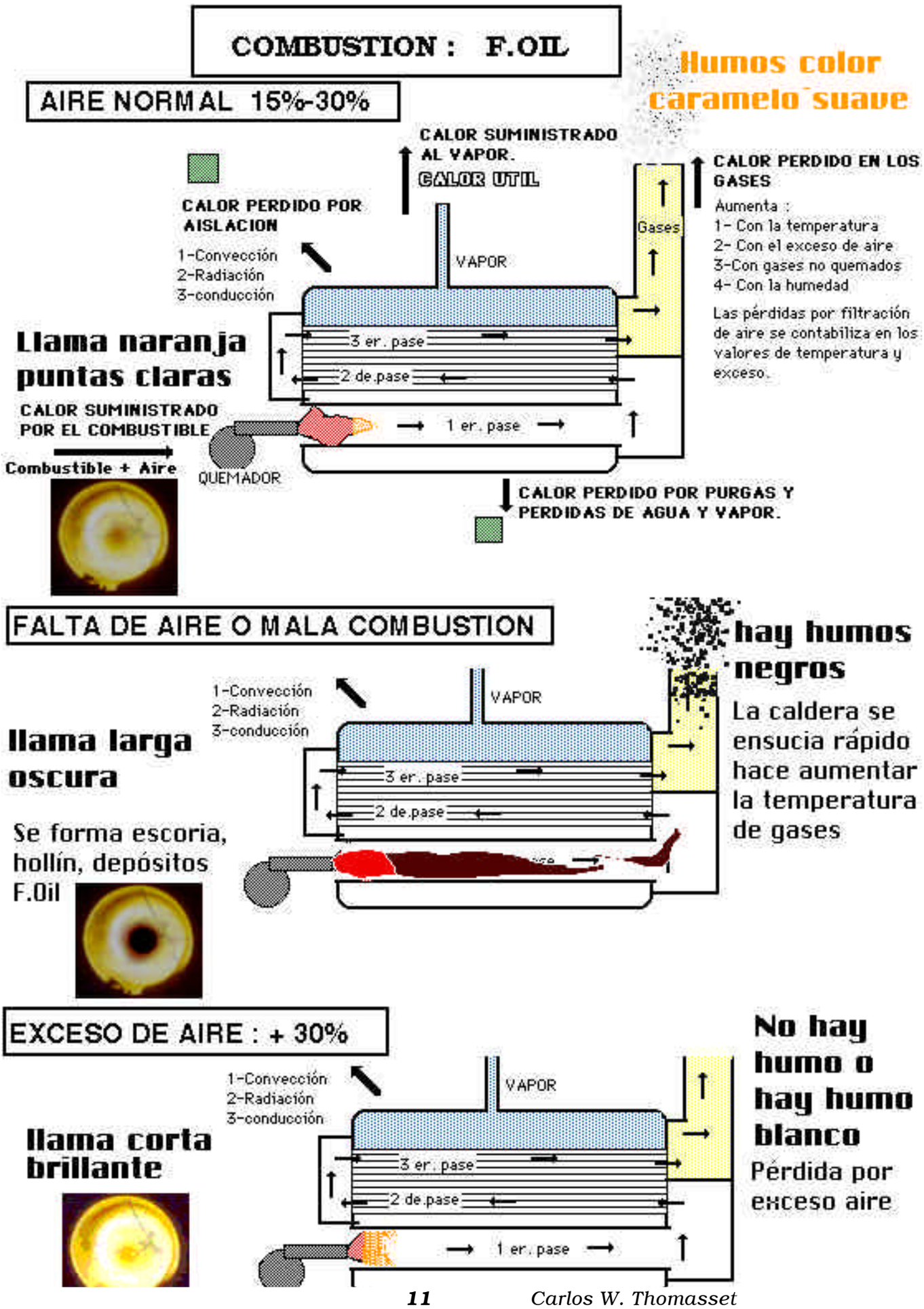
Modulo 6-AJUSTANDO LA COMBUSTION A FUEL OIL



La observación visual de la llama y los humos de la chimenea, en los combustibles líquidos, especialmene el Fuel Oíl (pesado y liviano), dan claras “señales” de su calidad de combustión. Pero no engañarse, que una chimenea libre de humos sea los más conveniente, ya que pueden haber excesos de aire que nos provocan grandes pérdidas económicas debido al calentamiento de un aire que no utilizamos en la combustión.

Veremos que en los combustibles gaseosos, no hay mucha demostración de la calidad de la combustión y en combustibles como el carbón es algo más notable (especialmente en los humos). En la combustión de leña, veremos que en la quema directa es observable la llama, no así tan facilmente en el gasógeno, en los humos en ambos sistemas no es claro la calidad de combustión (es decir el exceso, falta de aire o mala combustión).

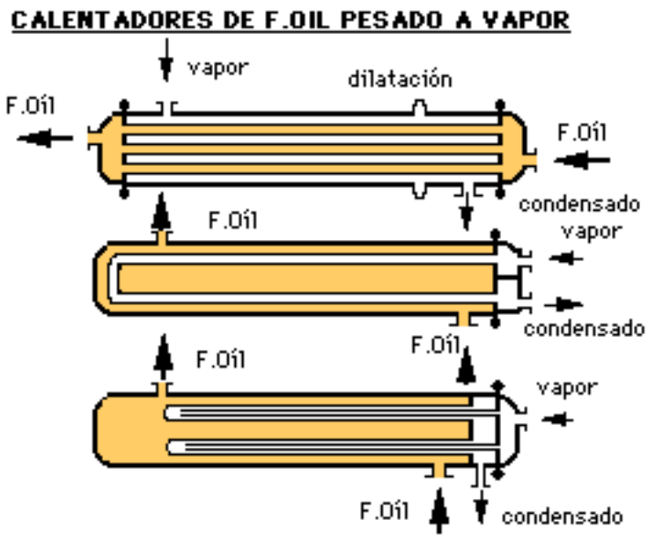
Modulo 6-AJUSTANDO LA COMBUSTION A FUEL OIL

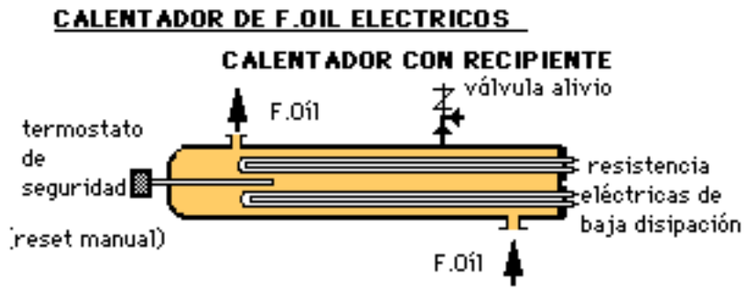


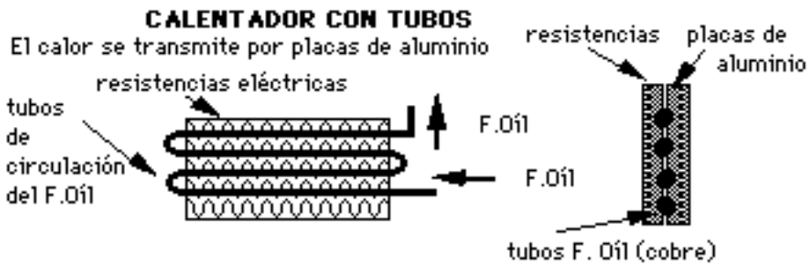
Modulo 6-AJUSTANDO LA COMBUSTION A FUEL OIL

El calentamiento del Fuel Oíl Pesado para su atomización debe precalentarse para bajar su viscosidad, primero para el bombeo (50ºC-60ºC) **y segundo para la atomización** (dependiendo del tipo de atomización, entre 85ºC a 145ºC), **con calor que tiene un costo inicial** (si bien este calor se suma al calor que aporta el combustible)**, este calor si se hace por medios externos al calor del vapor producido por la caldera, puede llegar a tener un costo importante y que se puede ahorrar en buena parte.** Para ello, lo ideal es tener un calentador inicial auxiliar para el arranque, que normalmente es un calentador eléctrico (la electricidad por lo general es más cara que el calor aportado por el vapor de la propia caldera) y **una vez que la caldera produce vapor, un calentador “principal” a vapor de la misma caldera (y también en el tanque de servicio y depósito del Fuel Oíl Pesado) se encarga de el calentamiento del combustible** (vapor controlado por un termostato que opera sobre una válvula de solenoide o una directamente una válvula termoreguladora, siendo importante que el condensado de estos calentadores se “tire” para evitar la contaminación del agua de caldera con combustible, accidente que puede ser muy costoso, a los sumo se puede intercambiar el calor del condensado en un recuperador de calor calentando agua o precalentando el mismo combustible en el tanque principal).

Si bien esto parece poco ahorro, al cabo del año puede ser muy importante (recordar que para calentar 1 Kg. de Fuel Oíl pesado, se necesitan aprox. 0,47 Kcal/kg.ºC-Kilocaloría por kilogramo por cada grado centígrado), **ya que por lo general el costo de las calorías producidas por la caldera cuesta un % bastante menor que la energía eléctrica.**







Modulo 6-AJUSTANDO LA COMBUSTION A FUEL OIL